Influencia del tiempo de explotación del Láser de CO2 y la cantidad de ventiladores del Sistema de Enfriamiento sobre la estabilidad del flujo radiante a la salida del Sistema Láser SYNRAD 48-2.

V. Ramirez Chi* , S. Rodés Lemus.**
Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC). Calle 25 esquina 158, Cubanacán, Playa, C. Habana.
Fax: 336321, telef: 2718066 ext.331 y 305, e-mail: :victor@neuro.edu.cu
** Instituto Central de Investigación Digital (ICID. Calle 202 #1704, entre 17 y 19 Siboney, Playa, C. Habana.
fax: 336387, telef: 2715476 ext. 17, e-mail: srodes@ icid.edu.cu

(Recibido el 20 de Noviembre del 2001, aceptado el 28 de Mayo del 2002)

Resumen

En el diseño de un Sistema Láser para ser utilizado con fines médicos, un aspecto a tener en cuenta por su importancia es la garantía de lograr un Sistema de Ventilación que implique mantener estable el flujo radiante de láser a la salida del equipo durante el período de explotación. En el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC) se han hecho investigaciones en estos equipos de Sistemas Láser con el objetivo de determinar en que medida influyen la cantidad de ventiladores dispuestos sobre el flujo radiante del láser a la salida del equipo de Láser de CO2 y el tiempo de explotación del equipo sobre la estabilidad del flujo radiante del láser de salida. Mediante la modelación, la simulación, el Diseño de Experimento y métodos estadísticos se determinó que el tiempo de explotación del equipo durante cada intervención médica y la cantidad de ventiladores implican una influencia significativa sobre la estabilidad del flujo radiante de salida. Esta investigación se llevó a cabo en el equipo de Láser de CO2 SYNRAD 48-2 y se empleó en la misma el programa de computación para el Diseño de Experimentos Statgrafics-Plus.

Palabras claves: Láser, flujo radiante.

1. Introducción.

La aplicación de los Sistemas Láser en la medicina reviste gran importancia por su alta explotación, tanto con fines terapéuticos como quirúrgicos y oftalmológicos. Fe de ello lo dan las inversiones realizadas por el Sistema Nacional de salud (SNS), en la adquisición de más de 100 Sistemas Láser para fines médicos durante la segunda mitad de la década del 80.

En otro sentido, las limitaciones financieras por la cual atraviesa el país y los altos precios (50 000 USD x unidad) que presentan estos equipos en el mercado internacional, han limitado la adquisición de los mismos.

Producto a este último fenómeno y debido a la gran necesidad de contar con estos equipos en los hospitales, se planteó la tarea de comenzar un gran número de estudios relacionados con los Sistemas Láseres, para su posterior implantación en el país.

Una parte importante a tener presente en estos sistemas es sin dudas, la garantía de lograr un sistema de ventilación que implique mantener estable el flujo radiante del láser de salida, durante el período de explotación. Por lo tanto en este trabajo se centró la atención sobre algunos factores involucrados en el sistema de ventilación, desde el punto de vista del análisis del diseño experimental, con el propósito de obtener una mejor interpretación del fenómeno en cuestión.

2. Objetivos del trabajo.

1. Determinar en que medida influye la cantidad de ventiladores dispuestos en el equipo sobre la estabilidad del flujo radiante de salida.
2. Determinar en que medida influye el tiempo de explotación del Láser de CO_2 sobre la estabilidad del flujo radiante de salida.
3. Determinar si la interacción entre los factores estudiados (la cantidad de ventiladores y el tiempo

de explotación del equipo) es un elemento a tener en consideración.

3. Desarrollo.

Metodología experimental:

Comprensión y planteamiento del problema.

Dada la necesidad de profundizar sobre los factores que más influyen sobre la estabilidad de los rayos láser a la salida (implican garantizar la estabilidad de la potencia de salida del equipo láser, muy importante para el éxito del tratamiento médico o la intervención quirúrgica dada, así como para la seguridad y la protección al paciente. De aquí que se plantee el análisis de, en que medida influyen los distintos factores principales, así como sus interacciones sobre el flujo radiante del láser a la salida.

Selección de factores y niveles.

Según los factores que varían y de mayor interés en el experimento, se encuentran la cantidad de ventiladores dispuestos y el tiempo de explotación del equipo, los intervalos de dicha variación aparecen entre 0 a 8 ventiladores (según las dimensiones admisibles del experimento) y entre 1 a 10.5 minutos (intervalo de tiempo que comúnmente se encuentra funcionando el equipo láser. Para estos factores según su intervalo de variación y con el propósito de realizar un análisis discreto y acorde con el experimento, se fijaron tres niveles para cada uno, uno alto(valor máximo), otro medio(valor intermedio) y otro bajo(valor mínimo), los cuales se medirán y controlaran por medio de la ubicación numérica, simétrica y equidistante de la cantidad de ventiladores dispuestos a lo largo del láser de CO_2 y para el factor tiempo de explotación se realizará con un generador de pulsos (equipo que garantiza un tiempo fijo de 13.9 segundos entre cada disparo) por lo tanto, el experimento se fijó para el intervalo entre los 5 y 45 disparos equivalentes aproximadamente al intervalo entre 1 a 10.5 minutos.

Selección de la variable respuesta.

La variable respuesta será la potencia a la salida del equipo láser, la cual brinda realmente una información útil acerca del proceso de estudio y la misma se medirá por medio del sensor térmico de potencia y energía (1)(ver figura 1) donde inciden los rayos láser, y el monitor de pantalla líquida con bloque de control incorporado (2)(ver figura 1) a través del cual se recoge la lectura.

Elección del diseño experimental.

Este experimento cuenta con dos factores a tres niveles cada uno, lo que implica un diseño tres a la dos y se le realizó una réplica, lo que representa 18 puntos experimentales, los que se ensayaron de forma aleatoria, según un orden recomendado. Se realizaron todas las corridas propuestas sin interrupciones. Por todas las características mencionadas implica un diseño experimental del tipo factorial completo.

Realización del experimento.

El experimento consistió en variar el número de ventiladores dispuestos dentro del equipo, los cuales fueron colocados según los criterios expuestos posteriormente y a su vez se varió el tiempo de explotación del mismo. Para cada punto experimental se midió la potencia de salida del flujo de rayo láser de salida. La unidad experimental fue el equipo de láser de CO_2 SYNRAD 48-2.

Para lograr los objetivos propuestos fue necesario realizar ciertas consideraciones en dependencia al modelo de diseño:

Consideraciones de diseño y características técnicas de los instrumentos experimentales.

Se experimentó con un solo tipo de ventiladores de las siguientes características: dimensiones de 92 mm x 25 mm, 12 volt, corriente directa, flujo de 14.6 litros por segundo, Radio Spare).

Se mantuvo invariable la distancia de separación entre los ventiladores y el láser.

Siguiendo recomendaciones del Fabricante, siempre se colocaron los ventiladores con el tiro de aire normal a la superficie de los disipadores del láser y distribuidos a todo lo largo.

La temperatura del medio del experimento se fijó en 12 grados Celsius.

Todas las observaciones se seleccionaron aleatoriamente, bajo las mismas condicionaes experimentales y no se tuvo interrupciones.

En la figura 1 se muestra el montaje del experimento. Para el montaje y preparación de los experimentos fue necesario emplear:

- Sensor térmico de Potencia y Energía (1).
- Monitor de pantalla líquida con bloque de control incorporado (2).
- Pantalla antirreflectante (7).
- Láser de CO_2 excitado por radio frecuencia (25 W máximo) y Ventiladores (92 x 25 mm, 12 V, 14.6 L/s) (3).
- Fuente de alimentación de 12 V (6).
- Fuente de tensión de 30 V (4).
- Generador de pulso (implica un tiempo de 13.9 segundos entre cada disparo) (5).

Se realizó un experimento del tipo Factorial Completo con 2 factores a 3 niveles cada uno con una réplica, para estimar el error puro o aleatorio, donde:

Factor A: Tiempo de explotación del láser (a unidad de medida es en minutos).

Factor B: Número de ventiladores (a unidad de medida es la unidad).

Rendimiento: Potencia de salida del Láser (la unidad de medida es el watt).

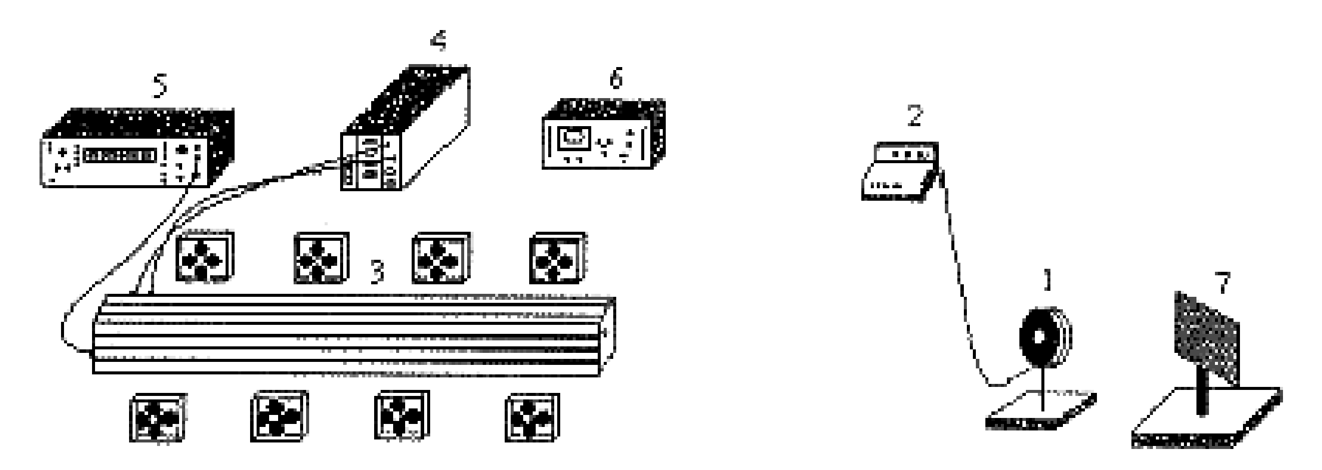


Fig 1: Montaje y prueba del experimento.

Se realizó un experimento del tipo Factorial Completo con 2 factores a 3 niveles cada uno con una réplica, para estimar el error puro o aleatorio, donde:

Factor A: Tiempo de explotación del láser (la unidad de medida es en minutos).
Factor B: Número de ventiladores (la unidad de medida es la unidad).
Rendimiento: Potencia de salida del Láser (la unidad de medida es el watt).
Los niveles seleccionados de cada factor fueron:
Factor A (minutos):
Nivel Alto (1) = 10.5
Nivel Medio (0) = 5.75
Nivel Bajo (-1) = 1
Factor B (unidades):
Nivel Alto (1) = 8
Nivel Medio (0) = 4
Nivel bajo (-1) = 0

Tabla 1. Resultados obtenidos.

Factor A	Factor B	Primera observación Potencia	Segunda observación Potencia
-1	1	31.59	31.48
0	0	27.50	28.41
1	0	25.38	25.47
-1	-1	32.38	32.10
1	1	31.35	31.22
0	-1	24.85	25.92
0	1	31.85	32.62
-1	0	31.92	31.80
1	-1	20.46	19.63

- Análisis de los resultados obtenidos.

Debido a que los datos que se relacionan en la tabla 1 fueron obtenidos a través de toda una metodología del diseño de experimento, donde se cumplen las premisas básicas del mismo, como es; la asignación al azar para el tratamiento de las unidades experimentales (garantizando la independencia de las observaciones), la reproducción del proceso que se estudia bajo las condiciones que lo caracterizan (permite obtener una estimación del error experimental y calcular una estimación más precisa del efecto de un factor incluido en el experimento) y la homogeneización de las unidades experimentales (tiende a la reducción máxima posible del error experimental) y se garantiza que el experimento se desarrolle bajo las condiciones de control local previstas. Por lo tanto, a continuación se presentan los resultados derivados del procesamiento de datos obtenidos a través del programa Statgraphics Plus (adecuado para estos tipos de diseño de experimento), (ver Tabla 2).

Los valores de la Tabla 2 se obtienen a través de las siguientes expresiones:

Suma de cuadrado de la fuente o factor A(SCA) es igual a:

$$SCA = \sum_{i=1}^{a} \frac{Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{abn}$$

Suma de cuadrado de la fuente o factor B (SCB) es igual a:

$$SCB = \sum_{j=1}^{b} \frac{Y_{.j.}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{abn}$$

Donde :

$$Y_{i..} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} Y_{ijk} \quad Y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} Y_{ijk} \quad Y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} Y_{ijk}$$

Suma de cuadrado de la fuente o interacción AB (SCAB) es igual a:

SCAB = SCSubtotales - SCA – SCB

Tabla 2: Análisis de varianza para la potencia de salida:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad
A	118.818	1	118.818	348.52	0.0000
B	100.746	1	100.746	295.51	0.0000
AA	0.171	1	0.171	0.5	0.4937
AB	71.342	1	71.342	209.29	0.0000
BB	0.560	1	0.560	1.64	0.2263
Bloque	0.104	1	0.104	0.31	0.5913
Error Total	3.750	11	0.341		
Total	295.491	17			

Donde:

$$SCSubtotales = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n}\frac{Y_{ij}^{2}}{n} - \frac{Y_{...}^{2}}{abn}$$

Suma de cuadrado de la fuente o interacción AA (SCAA) es igual a:

SCAA = SCSubtotales - SCA - SCA

Suma de cuadrado de la fuente o interacción BB (SCBB) es igual a:

SCBB = SCSubtotales - SCB – SCB

$$SCT = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} Y_{ijk}^{2} - \frac{Y_{...}^{2}}{abn}$$

Suma de cuadrado del error total

(SCE) = SCT – SCSubtotales

Donde:

Donde: i = 1,2.....,a niveles del factor A
J = 1,2.....,b niveles del factor B
k = 1,2,....,n réplicas.

El Grado de libertad del factor A = a – 1
El Grado de libertad del factor B = b – 1
El Grado de libertad de la intercción AB = (a–1)(b–1)
El Grado de libertad del error total = ab(n – 1)

El cuadrado medio se determina a través de la relación de la suma de cuadrados entre el grado de libertad de cada una de las fuentes por separado.

Ejemplo - cuadrado medio del factor: CMA = SCA / Grado de Libertad del factor A.

F representa el estadígrafo asociado a cada hipótesis y se determina mediante:

F = Cuadrado Medio del Factor / Cuadrado Medio del error total.

Entonces se puede demostrar que bajo la suposición de las independencias entre las muestras que provienen de una población normal con varianza constante, que el estadígrafo F tiene distribución F – Fisher con m y n grados de libertad de cada fuente y grados de libertad del error respectivamente. El estadígrafo F es una función de la muestra y si: F > f ;,m,n., entonces se decide rechazar la hipótesis Ho (la hipótesis Ho significa que el factor en cuestión no presenta un efecto significativo), por lo tanto rechazar la hipótesis Ho implica que el factor en estudio presenta un efecto significativo, donde ; es el nivel de significación de la dócima. Este criterio es equivalente a plantear, en términos de probabilidades, que si:

P(f >F) < ;, por tanto P significa Probabilidad y si es menor que ;, entonces se rechaza la hipótesis Ho. (La Probabilidad < 0.05, significa el riesgo que se comete con un 95% de confianza de rechazar la hipótesis Ho siendo la hipótesis Ho cierta).

Si como resultado de la prueba de hipótesis se llega a la conclusión de que las medias son diferentes, con frecuencia resulta de interés ordenar las medias de mayor a menor o viceversa, lo que implica realizar otras comparaciones. Los métodos de Scheffe, Tukey, Duncan y LSD (método de la mínima diferencia significativa) son los más utilizados. No existe un criterio único respecto a cual de estos métodos hay que aplicar, sin embargo, investigaciones serias sobre los mismos, recomiendan en primer lugar el LSD (para ;=0.05) la expresión del intervalo de confianza (1 - ;).100%) y el Duncan en muchas aplicaciones generales.

Del análisis del procesamiento de datos a través del **Statgraphics Plus** (programa que contiene toda una teoría de las probabilidades y de la estadística, además ilustraciones de tablas, gráficos con sus respectivos comentarios, para un posterior resumen y conclusiones) se obtiene lo siguiente:

El error absoluto experimental = 0.360123 (estimado de la varianza del error puro en toda la zona experimental).

La función estará ajustada con un 98.202% de confianza y toma en consideración la cantidad de coeficientes o parámetros calculados por el modelo, y se calcula:

$R^2 = 1 – [(SCET/GLET) / (SCT/GLT)]. 100\%$.

Donde:

SCET: Suma de Cuadrado del error total.

SCT : Suma de Cuadrado Total (determinado por la sumatoria de las sumas de cuadrado.).

GLET y GLT: Grado de libertad del error total y del total respectivamente. Este último se determina por la sumatoria de los grados de libertad existentes.

La prueba de Durbin-Watson (DW) permite determinar si hay alguna correlación significativa en los residuos y como en el experimento DW = 1.93497 (dato obtenido a través del programa) y como fue mayor que 1.4 (valor patrón obtenido por Durbin-Watson para determinar la probabilidad de la existencia o no de correlación en los residuos) se puede concluir que probablemente hay independencia entre los valores experimentales.

El nivel de significación o nivel de error fijado es de un 0.05 (estándar para estos experimentos). En la Tabla 2 donde los valores de la Probabilidad sean menores que 0.05 implica que el factor en cuestión presenta influencia significativa sobre el Rendimiento, de este razonamiento se determina que el factor A, factor B y la intercción AB presentan un efecto significativo sobre la variable respuesta.

El Diagrama de Pareto (figura 2) valida lo expuesto anteriormente. Este diagrama muestra cada efecto estimado de los factores y sus interacciones sobre el rendimiento. Este efecto es mostrado en forma de barra. Cualquier barra que se extienda más allá de la línea vertical (línea correspondiente al valor del ¨Standardized effect=2¨ (en el eje de las ordenadas)) corresponde al efecto, el cual es significativo con un 95% de confianza (Este gráfico es obtenido a través del programa **Statgraphics Plus**).

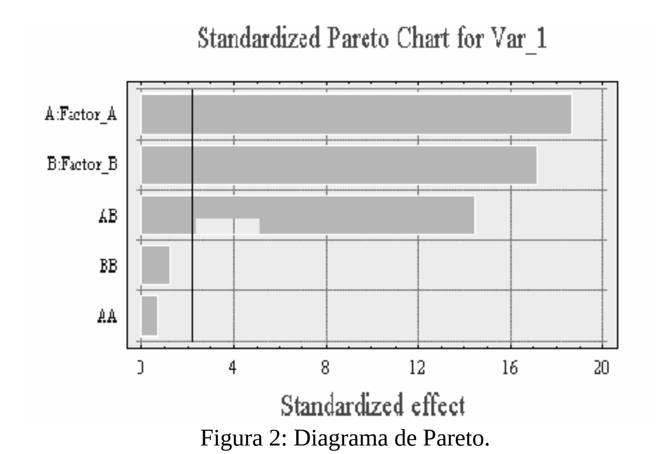


Figura 2: Diagrama de Pareto.

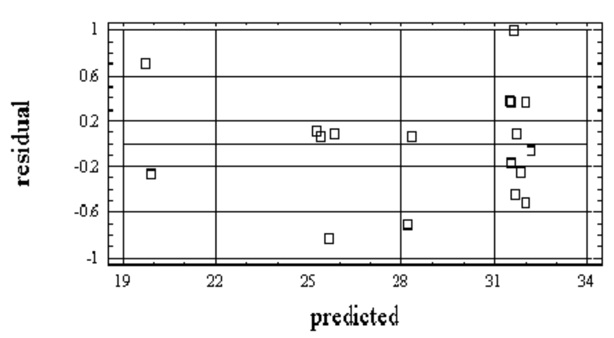


Figura 3: Residuos versus Rendimiento (Potencia).

La Figura 3 muestra que los residuos están al azar lo que ratifica que el modelo seleccionado describe adecuadamente los datos observados.

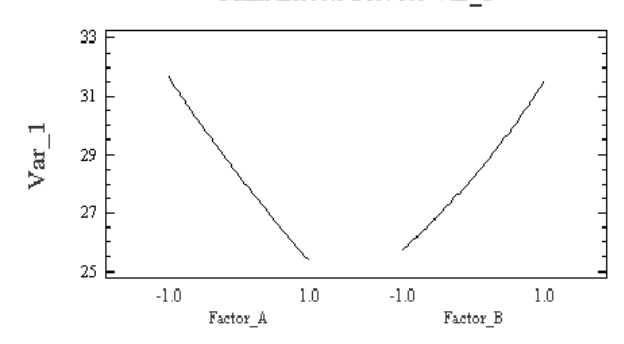


Figura 4: Influencia de los efectos principales sobre el rendimiento.

En la Figura 4 se muestra la influencia de los efectos principales (Factores A y B) sobre la potencia. Se ve como los factores principales varían su valor desde el nivel bajo hasta el nivel alto, lo que valida su gran incidencia sobre el Rendimiento.

Otros resultados auxiliados por el programa Statgraphics Plus son:

Según la correlación entre las variables en estudio y atendiendo los resultados de la tabla de varianza, queda que la ecuación para este modelo se asemeja a:

Pot. Salida (Watt) = 28.276 - 3.147 x Factor A + 2.897x Factor B + 2.986 Factor A x Factor B.

De la Figura 2 de los efectos sobre la potencia de salida, se determinó que el tiempo de explotación es quien presenta mayor implicación sobre el Rendimiento (18), seguido de la cantidad de ventiladores (17) y las interacciones entre ellos.

Este resultado también es demostrado por los gráficos de los efectos principales y el ploteo de las interacciones. En el gráfico de los efectos

estandarizados se ve que tienen un efecto significativo sobre el rendimiento, los factores A y B y las interacciones AB.

En el ploteo de los residuos, se indica que el modelo seleccionado es adecuado, ya que no presenta una distribución normal.

4. Conclusiones.

Sobre la base de las condiciones experimentales y con un nivel de riesgo menor del 2%, se puede concluir que:

1- Se determina, que el tiempo de explotación del equipo durante cada intervención médica cumple un efecto muy significativo sobre la estabilidad del flujo radiante del láser a la salida.

2- Se complementa que la cantidad de ventiladores disponibles en el sistema, implican una influencia significativa sobre la estabilidad del flujo radiante del láser a la salida, pero en menor magnitud con relación al tiempo de trabajo útil del equipo.

3- Se determina que la combinación entre el tiempo de explotación del equipo durante cada intervención y la cantidad de ventiladores dispuestos, presentan una influencia significativa sobre la estabilidad del flujo radiante de láser a la salida, lo cual constituye una variante de interés.

4- Se obtuvo para este experimento un modelo matemático (adecuado según el ploteo de los residuos), el cual relaciona las variables tiempo de explotación y la cantidad de ventiladores con la potencia de salida del láser, la misma quedó como:

POT. Salida (watt) = 28.276 - (3.147 x Fact A) + (2.897 x Fact. B) + (2.986 x Fact A x Fact B)

5. Bibliografía.

1. D. C. Montgomery. Diseño y análisis de experimentos. Edit. Iberoamericana, México, 1992.
2. R. López Plano. Diseño estadístico de experimentos. Edit. Científico-técnica. 1988.
3. C. Guerra Bustillo. Estadística. Edit. Pueblo y Educación.
4. L. Martí López. Manual de usuario Lasermed L-Q25.
5. L. Martí López . Láseres en medicina. Edit. México. 1997.

The Influences of the time of exploitation of the Laser of CO2 and the quantity of fans in the Cooling System about the stability of the radiant flow of exit of the Láser System SYNRAD 48-2.

Abstract

In the design of a Laser System´s to be used with ends doctors, an aspect to keep in mind for its importance is the guarantee of achieving a System of Ventilation that implies to maintain stable the radiant flow of exit of the Laser during the period of exploitation. In the CENIC investigations have been made in these Laser System´s with the objective of determining in that measured they influence the quantity of willing fans about the radiant flow of exit of the Laser of CO2 and the time of exploitation of the Laser about the stability of the radiant flow of exit. By means of the modelación, the simulation, the Design of Experiment and statistical methods were determined that the time of exploitation of the team during each medical intervention and the quantity of fans implies a significant influence on the stability of the radiant flow of exit. This investigation was carried out in the team of Laser of CO2 SYNRAD 48-2 and it was used in the same one the calculation program for Experiments Design Statgrafics-Plus.

Key words: Láser, radiant flow.